

مهندسی صنایع غذایی

FOOD INDUSTRY ENGINEERING

ایران پویش

سامانه علمی، پژوهشی، آموزشی و مشاوره ای

مرجع تالیف و گرد آوری محتوای آموزشی، جزوات
و نمونه سؤالات دانشگاه های برتر کشور

ارائه دهنده خدمات پژوهشی به اساتید و دانشجویان

وبسایت: iranpuyesh.ir

ایمیل: support@iranpuyesh.ir

تلگرام پشتیبانی علمی: [@IranPuyesh_Support](https://t.me/IranPuyesh_Support)



مهندسی صنایع غذایی

Food Industry Engineering

فهرست مطالب

11	.....	آحاد وابعاد
21	.....	نیرو
23	.....	انرژی پتانسیل
23	.....	انرژی جنبشی
27	.....	موازنه ماده و انرژی
32	.....	قانون گازهای کامل (ایده‌آل)
33	.....	قانون بویل
33	.....	قانون شارل
33	.....	قانون آووگادرو
34	.....	محاسبات مربوط به مخلوط گازها
38	.....	دمای واکنش
40	.....	تعاریف و مفاهیم اولیه
40	.....	خواص ترمودینامیکی
41	.....	فرایندها و سیکلها
41	.....	قانون صفرم ترمودینامیک
41	.....	ماده خالص
43	.....	معادلات حالت برای فاز بخار
44	.....	کیفیت و رطوبت
45	.....	مجموعه نکات
46	.....	کار و گرما
46	.....	محاسبه کار در سیستمهای مختلف
47	.....	گرما
48	.....	مجموعه نکات
49	.....	قانون اول ترمودینامیک
50	.....	انرژی داخلی
51	.....	گرمای ویژه حجم ثابت و گرمای ویژه فشار ثابت
51	.....	انرژی داخلی و آنتالپی و گرماهای ویژه گازهای ایده‌آل
52	.....	قانون اول ترمودینامیک به صورت معادله آهنگ
53	.....	فرایند حالت پایدار - جریان پایدار (STADY STATE STEADY FLOWPROCESS)
53	.....	فرایند حالت یکنواخت - جریان یکنواخت
55	.....	مجموعه نکات

57	..... قانون دوم ترمودینامیک
57	..... بازده موتور گرمایی و یخچال
58	..... بیان قانون دوم ترمودینامیک
58	..... عوامل ایجاد بازگشت پذیری
59	..... سیکل کارنو
59	..... مقیاس ترمودینامیکی دما
61	..... نامساوی کلاریوس
63	..... روابط خواص ترمودینامیک
63	..... اصل افزایش آنتروپی
64	..... تغییرات آنتروپی در جامدات و مایعات
65	..... فرایند پلی تروپیک برگشت پذیر برای گاز کامل
65	..... تحلیل قانون دوم ترمودینامیک در مورد حجم کنترل
66	..... فرایند برگشت پذیر حالت پایدار - جریان پایدار
66	..... راندمان ایزنتروپیک
67	..... برگشت ناپذیری و قابلیت کاردهی
68	..... مجموعه نکات
69	..... سیکل های ترمودینامیک
69	..... سیکل های توان و تبرید
70	..... سیکل رانکین
71	..... تأثیر عوامل مختلف بر راندمان سیکل رانکین
72	..... چرخه رانکین با گرمایش مجدد
72	..... چرخه رانکین با باز یاب
72	..... چرخه های توان استاندارد هوا
73	..... چرخه برای تون
74	..... سیکل توربین گاز همراه با باز یاب
74	..... سیکل استاندارد هوا برای دانش جت
74	..... سیکل اتو
75	..... سیکل دیزل
76	..... سیکل تبرید استاندارد هوایی
77	..... مجموعه نکات
80	..... مخلوط های گازی
81	..... مدل دالتون
81	..... مدل آماگات
82	..... خواص ترمودینامیکی مخلوط ها
82	..... مدل ساده شده مخلوط گاز و بخار
82	..... رطوبت نسبی $f = (\text{Relative humidity})$
83	..... رطوبت مخصوص (نسبت رطوبت) $W = (\text{Humidity Ratio})$
83	..... فرایند اشباع آدیباتیک
83	..... دمای حباب خشک (<i>Dry bulb temperature</i>) و دمای حباب تر (<i>Wet bulb temperature</i>)

84	مجموعه نکات
85	روابط ترمودینامیکی
85	معادله کلاپیرون
85	روابط ریاضی برای فاز همگن
85	روابط ماکسول
86	انبساط پذیری حجمی و تراکم پذیری آدیاباتیک و هم‌رما
87	مجموعه نکات
89	مجموعه تست
92	حل تست های
94	مجموعه تست
96	حل: تست
98	مجموعه تست
101	حل
104	مجموعه تست
109	حل تست
112	مجموعه تست
117	حل تست
121	مجموعه تست
127	مجموعه تست
128	حل
129	مجموعه تست
130	حل تست
131	مجموعه تست
133	حل تست
135	خواص سیال:
135	محیط پیوسته:
136	مسیر پویا آزاد:
136	تعریف سیال:
138	سیالات غیر نیوتنی
139	سیالات غیر نیوتنی مستقل از زمان:
141	سیالات غیر نیوتنی تابع زمان
142	سیالات ویسکوالاستیک
142	معرفی سیالات ویسکوالاستیک
143	برخی رفتارهای سیال ویسکوالاستیک
143	تغییر شکل سطح آزاد یک سیال در حال چرخش:
144	تغییر جهت جریانهای ثانویه یک جریان در حال چرخش
145	آماسیدگی جت
145	جریان یک سیال ویسکوالاستیک در یک کانال باز شیب دار

146.....	جریانهای ثانویه در مجراهای غیرمدور
146.....	بازگشت فنری
147.....	سیفون بدون لوله
147.....	لزجت
148.....	لزجت سینماتیکی
148.....	روابط میان چگالی، درجه حرارت و غلظت
149.....	ضریب کشسانی حجمی
150.....	فشار بخار (تبخیر و جوشش)
150.....	چگالی نسبی
150.....	کشش سطحی موئینگی
151.....	خاصیت موئینگی:
153.....	ایستایی سیالات
155.....	معادلات اساسی ایستایی سیالات
155.....	تغییرات فشار در یک سیال ساکن:
157.....	تغییرات فشار در یک مایع با لایه های مختلف
158.....	دستگاه های اندازه گیری فشار:
159.....	مفاهیم جریان و سینماتیک
159.....	روش های تحلیل
160.....	توصیف حرکت سیال
160.....	معادله خط جریان:
161.....	توصیف فرایندهای سیال و ساده سازی آنها:
162.....	جریان یکنواخت:
163.....	مفاهیم سیستم و حجم کنترل و کاربردهای آن:
164.....	معادله عمومی انتقال رینولدز:
165.....	قانون پیوستگی:
168.....	معادله اندازه حرکت:
169.....	کاربردهای معادله اندازه حرکت:
169.....	* تیغه های متحرک: (بسیار مهم)
171.....	اتلافات ناشی از انبساط ناگهانی لوله:
173.....	پرش هیدرولیکی
174.....	جریان لزج: لوله ها و کانالها
174.....	جریان های آرام و درهم
175.....	جریانهای درونی و بیرونی
175.....	لوله با سطح مقطع مدور، معادله HAGEN-POISUILLE:
177.....	افت هد در لوله ها:
178.....	افت هد در جریان آرام:
178.....	افت های فرعی:
179.....	افت هد ناشی از انبساط تدریجی:
179.....	افت هد ناشی از انقباض ناگهانی:

180	خوردگی فلزات
180	تمایل به خوردگی و مقیاس پتانسیل
180	انواع پیل
181	قرار دادهای الکتروشیمیایی
181	معادله نرنست
184	مفهوم پتانسیل اضافی
185	پلاریزاسیون
186	شدت جریان مبادله (تبادلی)
187	انواع خوردگی
195	حفاظت آندی
197	یادآوری نکات ضروری:
199	مقدمه
199	1-1 رسانایی (CONDUCTION)
201	حالت جامد
201	حالت سیال
203	2-1- جابه‌جایی (CONVECTION)
204	3-1- تابش (RADIATION)
205	4-1- مقایسه انتقال گرما و ترمودینامیک
206	خلاصه نکات
208	خودآزمایی
210	پاسخ تست
211	انتقال حرارت هدایتی
211	1-2- معادله نرخ رسانایی
212	2-2- معادله پخش گرما
215	3-2- شرایط مرزی و اولیه
218	4-2- سطوح گسترش یافته (پره‌ها)
219	5-2- شکل کلی معادله انرژی برای یک سطح گسترش یافته یک بعدی
228	مجموعه نکات
229	مجموعه تست
230	پاسخ
231	رسانایی گرمایی دائم و یک بعدی
231	1-3- رسانایی گرمای دائم و یک بعدی بدون تولید انرژی گرمایی
236	2-3- مقاومت گرمایی
237	3-3- دیوار مرکب
238	4-3- مقاومت سطح تماس
239	5-3- شعاع بحرانی:
240	6-3- رسانایی با تولید انرژی داخلی
247	7-3- روش دیگر برای تحلیل رسانایی

248.....	مجموعه نکات
251.....	مجموعه تست
261.....	پاسخ تستها

آحاد و ابعاد

برای بیان و توصیف کمیت‌های فیزیکی به ابعاد و آحاد نیازمندیم که طبق تعریف ابعاد همان مفاهیم اساسی در اندازه‌گیری کمیت‌های اصلی مانند جرم، طول و زمان هستند.

واحدها نیز به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند: واحدهای اصلی و واحدهای فرعی

واحدهای اصلی: واحدهایی هستند که به طور مستقل تعریف می‌شوند مثل طول، جرم و ...

واحدهای فرعی: واحدهایی هستند که از واحدهای اصلی تعریف و مشتق می‌شوند.

آنچه که واضح است این است که هر کمیت فیزیکی بوسیله ی یک بعد بیان می‌شود که برخی از آنها به شرح زیر است:

کمیت فیزیکی	بعد
طول	l
جرم	M
زمان	T
سرعت	lT^{-1}
شتاب	lT^{-2}
نیرو	MT^{-2}
فشار	$MI^{-1}T^{-2}$
کار	MI^2T^{-2}

آحاد و ابعاد

آنچه که در این بخش مد نظر است بازنگری و ارائه ی مجدد برخی اصول و مفاهیم اساسی شیمیایی و فیزیکی است که اگر چه این مفاهیم در ظاهر آسان به نظر می‌رسند اما کاربرد آن‌ها برای درک و حل مسائل صنعتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

به طور کلی برای بیان و توصیف کمیت‌های فیزیکی به ابعاد و واحدها نیازمندیم. طبق تعریف ابعاد مفاهیم اساسی در اندازه‌گیری کمیت‌هایی مثل جرم، طول و زمان و ... هستند.

قاعده ی کلی این است که دو بعد تنها در صورتی قابل جمع و تفریق اند که همسان باشند، در حالی که برای دو بعد غیر هم سان انجام اعمال ضرب و تقسیم امکان پذیر است. به عنوان مثال بعد طول با زمان قابلیت جمع یا تفریق شدن را ندارند اما قابلیت تقسیم شدن بر هم را دارند که در صورت تقسیم شدن بعد طول بر زمان مفهوم سرعت ($V = LT^{-1}$) بوجود می آید.

تست : در عبارت زیر متغیر β دارای چه بعدی است؟

$$A = \exp\left(\frac{\beta + 121^{0c}}{50^{0c}}\right)$$

(2) دما

(1) طول

(4) نمی توان اظهارنظر خاصی داشت.

(3) زمان

با توجه به این نکته که تنها دو بعد هم سان می توانند با هم جمع شوند بنابراین β دارای بعد دما است. (گزینه ی 2 پاسخ صحیح است).

واحدها به دو دسته تقسیم بندی می شوند: واحدهای اصلی و واحدهای فرعی

واحدهای اصلی: واحدهایی هستند که به طور مستقل تعریف می شوند مانند طول، جرم، زمان

واحدهای فرعی: واحدهایی هستند که از واحدهای اصلی مشتق می شوند و لذا وابسته ی به واحدهای اصلی بوده و به طور مستقل قابلیت تعریف شدن ندارند.

در فیزیک 7 کمیت اصلی داریم که برخی از آن ها عبارتند از: مقدار ماده، طول، جرم، زمان و ... که هر یک از این کمیت ها بوسیله یک بعد بیان می شوند. در این بخش آشنایی با 3 کمیت طول، جرم و زمان و کاربرد ابعاد آن ها برای تعریف مفاهیم جدید الزامی است.

کمیت فیزیکی	طول	جرم	زمان
بعد	L	M	T

اکنون با توجه به این نکته، ابعاد غیر هم سان قابلیت ضرب و تقسیم شدن دارند می توان با سایر کمیت های فیزیکی نیز آشنا شد.

$$V = \frac{L}{T} \text{ یا } LT^{-1} \quad \text{سرعت} = \frac{\text{طول}}{\text{زمان}}$$

$$\frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2} \quad \text{شتاب} = \frac{\text{سرعت}}{\text{زمان}}$$

$$LT^{-2}.M : \text{جرم. شتاب} = \text{نیرو (F = m.a)}$$

$$\frac{M}{L^3} = ML^{-3} : \text{چگالی یا دانسیته} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$$

$$\frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2} : \text{فشار} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}}$$

$$MT^{-1} : \text{دبی جرمی} = \frac{\text{جرم}}{\text{زمان}}$$

$$L^3T^{-1} : \text{دبی} = \frac{\text{حجم}}{\text{زمان}}$$

$$LT^{-2}.M.L = ML^2T^{-2} : \text{فاصله. نیرو} = \text{کار}$$

بنابراین با داشتن ابعاد اصلی می توان به راحتی بعد بسیاری از کمیت های فیزیکی دیگر را استخراج نمود.

$$\frac{ML^2T^{-2}}{T} = ML^2T^{-3} : \text{کار} = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}}$$

با داشتن بعد یک کمیت فیزیکی به راحتی می توان واحد آن را در سیستم دلخواه بدست آورد. به عنوان مثال:

تست - واحد توان P در سیستم CGS کدام است؟

$$(1) \text{ gcm}^2\text{s}^{-3} \quad (2) \text{ gcm}^2\text{s}^{-2} \quad (3) \text{ Lbft}^2\text{S}^{-2} \quad (4) \text{ gcm}^2\text{s}^3$$

همانطوری که بیان شد توان دارای بعد ML^2T^{-3} است که واحد این بعد در سیستم CGS گزینه 1 است.

طبق تعریف ویسکوزیته عبارت است از مقداری از ماده که از واحد زمان از واحد طول عبور می کند بنابراین خواهیم

داشت:

$$(1) : ML^{-1}T^{-1} = \frac{\text{جرم}}{\text{زمان} \cdot \text{طول}} = \text{ویسکوزیته}$$

نکته اینجاست که اگر بعد ویسکوزیته را بر اساس تعریف آن از قانون نیوتن در بحث مکانیک سیالات استخراج کنیم،

ظاهراً بعد آن متفاوت از فرم بالا خواهد بود:

$$T = \frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy} \quad \text{قانون نیوتن}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{T}{\frac{dv}{dy}} : \frac{F.L^{-2}}{LT^{-1}/L} = \frac{F.T}{L^2} \quad (2)$$

این رابطه نیز بیانگر بعد ویسکوزیته ی دینامیکی یا مطلق است که اگر نیرو را در آن جایگزین کنیم به همان رابطه ی (1) خواهیم رسید:

$$\frac{F.T}{L^2} = \frac{L.T^{-2}.M.T}{L^2} = \frac{M}{L.T} = ML^{-1}T^{-1}$$

اما بیان ویسکوزیته طبق رابطه ی (2) در سیستم CGS بیانگر واحد ویسکوزیته ی مطلق یا همان پویز است.

$$\frac{\text{ثانیه} \times \text{نیوتن}}{\text{cm}^2} \quad \text{واحد} \quad \text{پویز} \rightarrow \text{poise} \quad \text{CGS: } \mu =$$

تست - واحد ویسکوزیته ی مطلق در سیستم SI کدام است؟

$$(1) \quad (2) \text{ ثانیه. پاسکال} \quad (3) \text{ سانتی پویز} \quad (4) \frac{\text{kg}}{\text{cm.s}}$$

بیان شد که بعد ویسکوزیته به شکل $\frac{F.T}{L^2}$ است، از طرفی می دانیم که L^2 بیانگر مفهوم سطح است و لذا نیرو تقسیم

بر سطح همان فشار خواهد بود که دارای واحد پاسکال در سیستم SI است:

$$\frac{F.T}{L^2} = \frac{F.T}{A} = P \cdot T$$

بنابراین گزینه ی 2 پاسخ صحیح است.

تست - کدام رابطه برای بیان واحد ویسکوزیته صحیح می باشد؟

$$1P_0 = 0/1N.sec/m^2 \quad (2) \quad 1P_0 = N.sec/m^2 \quad (1)$$

$$1P_0 = 1kg/cm.sec \quad (4) \quad 1P_0 = 242lb/in.sec \quad (3)$$

$$\text{بعد ویسکوزیته در CGS: } \frac{F.T}{L^2} = \frac{\text{dya.sec}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \frac{10^{-5}N}{1\text{dg}} \times \frac{(100\text{cm})^2}{(1\text{m})^2} = 0/1N.sec/m^2$$

بنابراین گزینه 2 پاسخ صحیح است.

تست - می دانیم واحد ویسکوزیته، پواز از نظر ابعادی $ML^{-1}T^{-1}$ می باشد. با توجه به سیستم انتخابی کدام

گزینه قابل قبول می باشد

$$1 \text{poise} \Rightarrow 0/1 N \cdot \frac{\text{sec}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

$$1 \text{poise} \Rightarrow 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{sec}} \quad (1)$$

$$1 \text{poise} \Rightarrow 242 \frac{\text{Lb}}{\text{in} \cdot \text{hr}} \quad (4)$$

$$1 \text{poise} \Rightarrow 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2 \cdot \text{sec}} \quad (3)$$

می دانیم که، پواز در سیستم CGS تعریف می شود و طبق تعریف آن داریم:

$$\text{poise} : \frac{\text{dya.S}}{\text{cm}^2} \times \frac{10^{-5} \text{N}}{1 \text{dg}} \times \frac{(100 \text{cm})^2}{(1 \text{m})^2} = 0/1 \frac{\text{N} \cdot \text{sec}}{\text{m}^2}$$

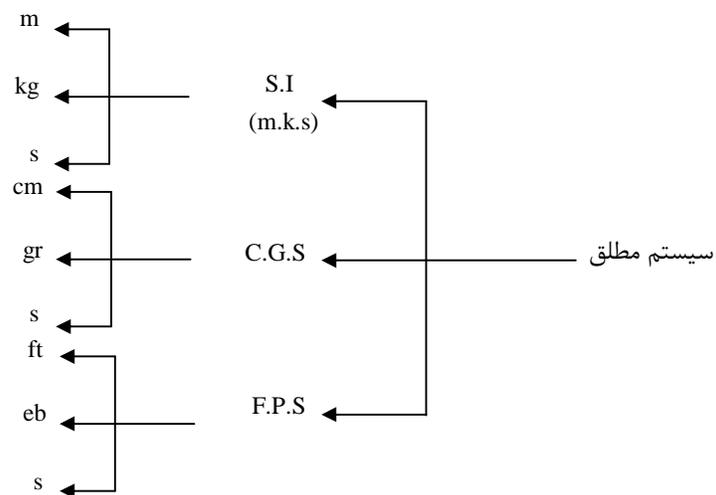
بنابراین گزینه 2 پاسخ صحیح است.

ویسکوزیته دارای انواع دیگری نیز می باشد که در مباحث بعدی قید خواهد شد.

کمیت های اصلی در 2 قالب یا 2 سیستم مورد بررسی قرار می گیرند و بیان می شوند: سیستم نسبی یا مطلق یا

دینامیک Absolut system سیستم نسبی یا ثقلی

هر یک از این سیستم ها خود به انواع مختلفی دسته بندی می شوند:



سیستم مهندسی انگلیسی

(English or British Engineering) E.E سیستم مهندسی انگلیسی

سیستم نسبی یا

(American Engineering) A.E سیستم مهندسی امریکایی

در جدول زیر معمول ترین واحدهایی که در سیستم های مختلف مورد استفاده قرار می گیرند ارائه شده است.

unit system	طول	زمان	جرم	نیرو	انرژی
CGS	cm	Sec	gr	dyne	Cal, erg
SI	m	Sec	Kg	N	J, cal
FPS	ft	Sec	Lb	poundal	Ft. poundal
E.E	ft	Sec	slug	Pound weight	Btu
AE	ft	Sec	Lbm	lbf	Btu

با استفاده از این جدول می توان اطلاعات بسیار مفیدی استخراج نمود که از آن جمله تعریف برخی از واحدهاست. به عنوان مثال می توان با استفاده از جدول فوق **dyne** را که واحد نیرو در سیستم **CGS** است به این شکل تعریف نمود که این عبارت است از نیرویی که به جسمی به جرم **1gr** وارد شده و به آن شتابی معادل $1\frac{cm}{s^2}$ می دهد. به همین شکل می توان سایر کمیت های مهم موجود در جدول را نیز توصیف نمود.

تست - پاندال (**poundal**) عبارت است از:

(1) نیرویی که جسمی به جرم **1kg** وارد شده و به آن شتابی معادل $1\frac{m}{s^2}$ می دهد.

(2) نیرویی که جسمی به جرم **1Lb** وارد شده و به آن شتابی معادل $1\frac{m}{s^2}$ می دهد.

(3) نیرویی که جسمی به جرم **1Lb** وارد شده و به آن شتابی معادل $1\frac{ft}{s^2}$ می دهد.

(4) نیرویی که جسمی به جرم **1g** وارد شده و به آن شتابی معادل $1\frac{cm}{s^2}$ می دهد.

طبق توضیحات ارائه شده و توجه به جدول فوق می توان به آسانی نتیجه گیری کرد که پاسخ صحیح گزینه 3 است. کاربرد دیگر جدول بالا تبدیل واحد از یک سیستم به سیستم دیگر است. به عنوان مثال تبدیل واحد انرژی **erg** از سیستم **CGS** به واحد انرژی ژول (**j**) در سیستم **SI** است که برای این منظور نیاز است ابتدا ضرایب تبدیل مورد نیاز بیان شوند: